

## Utilização de descritores acústicos na avaliação de vozes líricas pré- e pós-aquecimento

Carolina Ghelli Ferreira de Melo  
Universidade Federal de Minas Gerais – carolinafonoaudiologia@yahoo.com.br

Sérgio Freire  
Universidade Federal de Minas Gerais - sfreire@musica.ufmg.br

**Resumo:** O texto descreve os resultados de uma pesquisa sobre a qualidade vocal de 14 cantores líricos, pré- e pós-aquecimento, comparando diversos parâmetros acústicos extraídos das gravações realizadas de uma vogal sustentada: frequência fundamental ( $f_0$ ), *jitter*, *shimmer*, envelope dinâmico, curva de ataque, harmonicidade, distribuição espectral, variação e centróide espectral. Um programa de aquecimento foi especialmente elaborado para este trabalho. As análises foram realizadas com o *software PRAAT*. Resultados estatisticamente significativos foram obtidos com os descritores acústicos *jitter* e harmonicidade. É também apresentada uma discussão qualitativa baseada nos descritores variação e centróide espectral.

**Palavras-chave:** Análise acústica. Aquecimento vocal. Cantores líricos.

### The use of acoustic descriptors on the evaluation of lyric voices during pre and post warm-up

**Abstract:** The text describes the results of a research on the vocal quality of 14 lyric singers, pre-and post-vocal warm-up, comparing different acoustic parameters extracted from recordings made in a vowel: fundamental frequency ( $f_0$ ), *jitter*, *shimmer*, dynamic envelope, curve attack, harmonicity, spectral distribution, variation and spectral centroid. A vocal warm-up program has been specially designed for this work. Analyses were performed with the software PRAAT. Statistically significant results were obtained with acoustic descriptors *jitter* and harmonicity. It also gives a qualitative discussion based on variation and spectral centroid descriptors.

**Keywords:** Acoustic analysis. Vocal warm-up. Lyric singers.

## 1. Introdução

O texto que se segue discute os resultados da aplicação de um aquecimento vocal padrão a todos os participantes (detalhado adiante – Metodologia), organizado pela pesquisadora, baseado em técnicas já descritas na literatura. A análise baseia-se em parâmetros acústicos de amostras de vogal sustentada ([a]). Nesta, além dos tradicionais parâmetros de frequência fundamental ( $f_0$ ), *jitter* e *shimmer*, cujos resultados se aplicam à totalidade do sinal analisado, foram também utilizadas a evolução temporal e a média global (quando pertinente) de diversos descritores acústicos: frequência fundamental, envelope

dinâmico, curva de ataque, harmonicidade, distribuição espectral, variação espectral e centróide espectral.

A saúde vocal do cantor necessita de cuidados básicos para que haja longevidade da voz e menores riscos de problemas funcionais ou orgânicos no aparelho fonador (JACKSON, 1987). Diante disso, o aquecimento vocal mostra-se essencial para todo cantor, para a saúde, longevidade e melhora do desempenho vocal, de qualquer estilo e demanda musical (BEHLAU *et al.*, 1996). No entanto, a literatura mostra-se ainda bastante tímida no que diz respeito às justificativas fisiológicas para tal aquecimento e, segundo Gish *et al.* (2010), conflitante também no que diz respeito à eficácia, duração, frequência e ainda sobre os exercícios vocais amplamente utilizados para tanto. Behlau *et al.*, 1996; Costa; Andrada e Silva, 1998; Sataloff, 1991 reforçam que não existe um consenso entre o tempo e a intensidade de aquecimento, estes fatores devem ser ajustados de acordo com a idade e o treinamento dos profissionais.

O aquecimento vocal corresponde à realização de uma série de exercícios respiratórios e vocais, cuja finalidade, em especial, é aquecer a musculatura das pregas vocais antes de uma atividade mais intensa para evitar sobrecarga, o uso inadequado ou um quadro de fadiga vocal (COSTA; ANDRADA E SILVA, 1998). Segundo Sataloff (1991), o aquecimento desenvolve a consciência cinestésica/proprioceptiva muscular do corpo no espaço e a consciência dos músculos responsáveis pela *performance* no canto.

A avaliação acústica realiza mensurações do sinal sonoro vocal. A análise espectrográfica acústica mede a distribuição espectral da onda sonora vocal, detectando sutilezas do sinal vocal e fornecendo uma representação tridimensional. Esta representação revela dados sobre as fontes do som da voz, friccionais ou glóticas, e ainda características de ressonância do trato vocal. Por meio do espectrograma é possível identificar características temporais da onda sonora, tais como: harmônicos vocais e regularidade no traçado, formantes das vogais, regiões de incremento de energia das consoantes, definição de frequência ou intensidade (BEHLAU *et al.*, 2001; BEHLAU; RUSSO, 1993; ELLIOT *et al.*, 1995; SATALLOF *et al.*, 1990).

No tocante aos parâmetros acústicos abordados neste estudo, faz-se importante conceitua-los brevemente. A  $f_0$  (em *Hertz* - Hz) é um atributo físico do sinal, sendo determinada fisiologicamente pelo número de ciclos que as pregas vocais fazem em um segundo (PINHO; CAMARGO, 2001). As variações em altura da  $f_0$  e em intensidade da amplitude de cada período são respectivamente denominadas *jitter* e *shimmer*, e apresentam-se como medidas de estabilidade fonatória (BEHLAU, 1997, 2001). A harmonicidade

representa a medida de ruído presente no sinal de voz. Representa o grau da periodicidade acústica (BOERSMA; WEENINK, 2003). O fluxo espectral representa a variação entre os espectros de momentos vizinhos de um mesmo som, por meio dos resultados, obtém-se tanto uma curva (com a variação espectral no eixo vertical, e o tempo no eixo horizontal), quanto uma média dessa variação em todo o trecho. Por fim, o centróide espectral, comumente descrito como o centro de gravidade do espectro sonoro. Para cada quadro de análise espectral obtém-se um valor (em Hz), que pode ser correlacionado ao brilho (ou à maior presença de componentes agudos) do som em questão.

Como hipótese, esperava-se que o aquecimento proporcionasse uma maior regularidade na emissão vocal (medidos por *jitter*, *shimmer* e variação espectral), uma melhor relação sinal-ruído (expresso pela harmonicidade) e um maior brilho vocal, devido a um fechamento mais efetivo das pregas vocais (medido pelo centróide espectral).

## **2. Metodologia**

Trata-se de um projeto de pesquisa de caráter experimental, com delineamento quantitativo e qualitativo, o qual foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP/UFMG), sob o protocolo de número **CAAE - 0530.0.203.000-11**.

### **2.1 Sujeitos**

De acordo com o cálculo do tamanho amostral estatístico, em hipóteses em amostras pareadas, inicialmente, foi proposto o número de 29 cantores para compor o grupo de sujeitos da presente pesquisa. Após a coleta de dados, feita com dezesseis (16) vozes, verificou-se que um grupo menor foi suficiente para gerar resultados estatisticamente significativos em alguns dos parâmetros escolhidos, como se verá mais adiante na discussão dos resultados. É importante ressaltar que duas (2) vozes foram eliminadas das análises, pelo fato de terem apresentado algum dos itens listados nos critérios de exclusão (abaixo) estabelecidos para a pesquisa.

A população alvo recebeu os esclarecimentos necessários sobre o estudo e foi convidada a participar espontaneamente mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Os critérios de inclusão dos sujeitos da pesquisa foram: cantores líricos; classificação vocal: incluem-se todos os naipes; ambos os gêneros; idades entre 18 e 40 anos, pois acredita-se que nessa faixa etária o aparelho fonador ainda não sofreu a

influência das alterações hormonais e estruturais do envelhecimento (COSTA-PAIVA *et al.*, 2002), como também não sofre mais as alterações da muda vocal (AZEVEDO BB. *et al.*, 2007). Os critérios de exclusão foram: manifestação de queixas vocais como rouquidão, fadiga vocal, falhas na voz ou ardência na garganta nos 15 dias que antecederam a data da avaliação, visto que estes são sintomas sugestivos de algum tipo de alteração vocal orgânica ou comportamental (BEHLAU *et al.*, 2001; CASPER; COLTON, 1996; PINHO, 2003); história pregressa de doenças neurológicas e/ou endocrinológicas relevantes, ou gástricas (BEHLAU *et al.*, 2001; PINHO, 2003); alterações hormonais decorrentes de gravidez ou período menstrual e pré-menstrual (FIGUEIREDO *et al.*, 2004); gripe e/ou alergias respiratórias, porque ambos podem causar edema nas pregas vocais; hábitos de etilismo e tabagismo (BEHLAU *et al.*, 2001; CASPER; COLTON, 1996; PINHO, 2003), já que esses agentes são agressivos à laringe e podem originar problemas vocais orgânicos.

## **2.2 Programa de aquecimento**

Após a gravação das primeiras amostras vocais (pré-aquecimento) foi dado início ao programa de aquecimento vocal organizado pela pesquisadora, baseado em técnicas já descritas na literatura. Os exercícios selecionados tem sido frequentemente utilizados no treinamento vocal, apresentado por Behlau *et al.* (2005), e pelo mesmo entende-se por uma “série de exercícios com finalidades específicas, quer seja para contribuir na mudança do resultado vocal, quer seja para favorecer um novo ajuste muscular” e com fortes aplicações em voz profissional.

O procedimento proposto, com duração de 15 minutos, contemplou os seguintes exercícios: técnica de movimentos cervicais; prosseguiu com movimentos de rotação de ombros de frente para trás (sentido horário) associados à emissão prolongada de um som facilitador (som vibrante) em tonalidade confortável para o cantor e na sequência, rotação de ombros de trás para frente (anti-horário); seguiu com a técnica de sons fricativos (emissão dos sons fricativos em passagem de sonoridade “sss...” – “...zzz”); na sequência, projeção de curtas emissões de “sss” com variação de intensidade: fraca, moderada e forte); prosseguiu com a técnica de rotação de língua no vestíbulo bucal e com a técnica de deslocamento lingual (anteriorização); as técnicas dos sons vibrantes (3 minutos) e sons nasais (escala ascendente cantada em “nu” e descendente em boca *chiusa*) foram associadas à técnica de escalas musicais; finalmente, os exercícios de trato vocal semi-ocluído (ETVSO) também foram associados à técnica de escalas musicais.

### 2.3 Descrição da análise acústica

Para análise acústica foi utilizado o *software PRAAT 5.1.32* (BOERSMA e WEENINK, 2010), do *Institute of Phonetic Sciences*, pertencente a Universidade de Amsterdã. O referido *software* vem sendo utilizado em pesquisas científicas em todo o mundo, revelando-se confiável (CARRILO; ORTIS, 2007; DROMEY; SMITH, 2008; OGUZ *et al.*, 2007). A partir dos registros espectrográficos foram avaliados o comportamento dos formantes do som e harmônicos, de forma quantitativa e qualitativa, tendo fornecido um: traçado espectrográfico, harmônicos superiores, ruído entre os harmônicos, definição dos harmônicos. Ainda por meio na análise acústica da voz, na análise das vogais sustentadas, além dos tradicionais parâmetros de frequência fundamental, *jitter* e *shimmer*, utilizou-se também a evolução temporal de diversos descritores acústicos: frequência fundamental, envelope dinâmico, curva de ataque, harmonicidade, espectrograma, centróide espectral.

O valor de *jitter* utilizado foi o *jitter* local, que é calculado através da divisão da média das diferenças absolutas entre períodos consecutivos (durações de cada ciclo) pela média de todos períodos. É expresso em % e 1.040% é o valor limite para patologia. O valor de *shimmer* utilizado foi o *shimmer* local, que é calculado através da divisão da média das diferenças absolutas das amplitudes de períodos consecutivos pela amplitude média de todos períodos. Também é expresso em % e 3.810% é o valor limite para patologia (BOERSMA e WEENINK, 2010).

Os cálculos dos espectrogramas (e seus derivados variação e centróide espectral) foram realizados com os seguintes parâmetros: tamanho da janela de análise (*window length*): 0.05 segundos; frequência máxima: 8000 Hz; passo temporal (*time step*): 0.025 segundos; passo de frequência (*frequency step*): 20 Hz; forma da janela (*window shape*): gaussiana.

A variação espectral foi calculada com a seguinte fórmula:

$$\text{variation} = 1 - \frac{\sum_k a(t-1, k) \cdot a(t, k)}{\sqrt{\sum_k a(t-1, k)^2} \sqrt{\sum_k a(t, k)^2}},$$

na qual  $a(t)$  e  $a(t-1)$  são espectros sucessivos do som a ser analisado, e  $k$  indica a ordem dos componentes espectrais. Uma média geral dos valores obtidos em cada gravação foi também calculado.

O centróide espectral foi calculado com a seguinte fórmula:

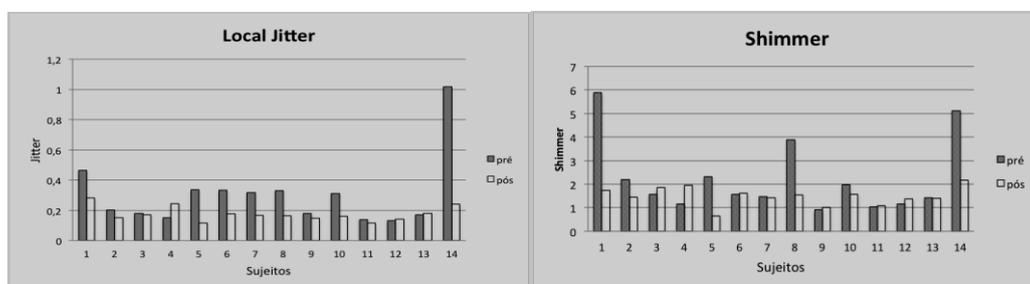
$$\text{centroide}_{\text{espectral}} = \frac{\sum_k f_k S(f_k)}{\sum_k S(f_k)}, \text{ onde } f \text{ é a frequência de cada bin de análise e}$$

S(f) a amplitude de cada bin. Além do cálculo da média de todo o trecho gravado dos valores de centróide espectral, foi também realizada uma normalização desse valor, através de uma divisão pela frequência fundamental cantada. Desse modo, cria-se um parâmetro confiável para comparação de vozes de naipes e sexos distintos.

### 3. Resultados

Genericamente, no diz respeito aos descritores acústicos, das 14 vozes analisadas, observou-se que, após o aquecimento vocal, a frequência fundamental aumentou para 50.00% (7) cantores e diminuiu para os outros 57.14% (8); a intensidade aumentou para 71,42% (10) dos participantes e diminuiu para 28,57% (4) dos mesmos; o *jitter* aumentou para 21.42% (3) dos indivíduos e diminuiu para 78.57% (11) deles, enquanto que os dados obtidos de *shimmer* houve um aumento em 42.85% (6) da população estudada e uma diminuição nos 57.14% (8) restantes.

Os gráficos abaixo resumem os resultados obtidos para os parâmetros globais *jitter*, *shimmer*, harmonicidade, variação espectral e (média do centróide espectral)/ $f_0$  nos grupos pré- e pós-aquecimento.



Figuras 1 e 2: valores de *jitter* e *shimmer* pré- e pós- aquecimento.

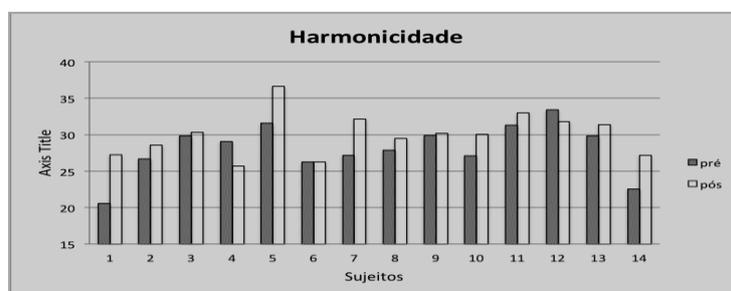
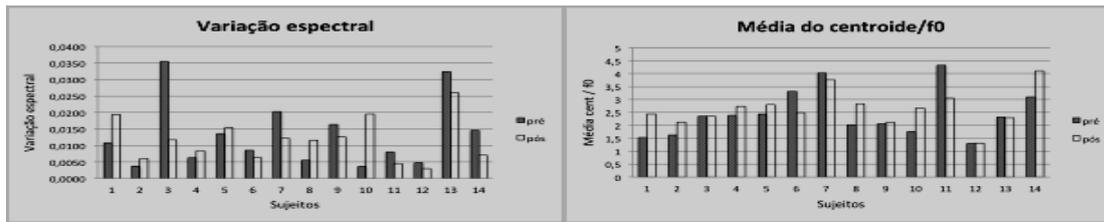


Figura 3: valores de harmonicidade pré- e pós- aquecimento.



Figuras 4 e 5: valores de variação espectral e média do centróide espectral pré- e pós- aquecimento.

Os quatro descritores globais que consideramos relevantes para uma análise estatística comparativa são *jitter*, *shimmer*, harmonicidade e variação espectral. Em relação aos três primeiros, têm-se uma expectativa clara da direção de sua possível mudança após o aquecimento: *jitter* e *shimmer* deveriam diminuir, e a harmonicidade aumentar. Já a variação espectral merece uma discussão posterior mais detalhada, pois embora relevante, não é claro o que se esperar dela. Após análise da normalidade das amostras por meio do método QQ-plot (*quantile-quantile plot*), foi aplicado o teste *t* de *Student* aos conjuntos de dados pré- e pós-aquecimento. O valor *p* deste teste indica a probabilidade da hipótese nula (o aquecimento não produzir efeito) ter acontecido no experimento. Os resultados relativos ao *jitter* e harmonicidade apresentam uma clara separação entre os grupos (índice significativo  $p < 0.05$ ), enquanto o *shimmer* não indica esta tendência. Os valores *p* para os três referidos parâmetros acústicos são: *jitter*, 0.019; harmonicidade, 0.011 e *shimmer* 0.13. O resultado referente ao *jitter* deve ser relativizado, pois o teste de normalidade acabou dividindo os cantores em dois grupos (um afetado positivamente pelo aquecimento, o outro indiferente ao aquecimento), fato que deverá merecer atenção futura.

#### 4. Discussão qualitativa

Embora a variação espectral também tenha sido calculada, é mais difícil inferir de antemão que uma maior qualidade vocal estaria ligada a uma maior ou menor variação dessa grandeza. Para uma abordagem qualitativa, escolhemos os dois sujeitos que apresentaram extremos de variação espectral em suas amostras pré- e pós-aquecimento: sujeito 3 (razão pós/pré = 0.3295) e sujeito 11 (razão pós-pré = 5.4309).

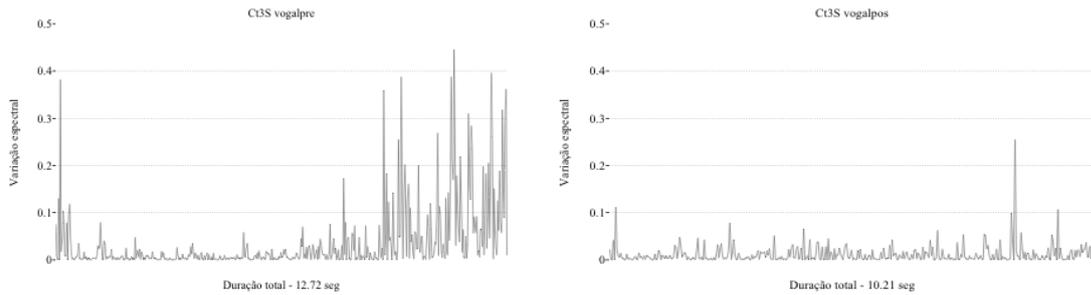


Figura 6: Curvas de variação espectral do cantor 3 pré- e pós- aquecimento.

Analisando-se as gravações e as curvas de  $f_0$  do cantor 3, nas gravações pré- e pós-aquecimento, pode-se concluir que, neste caso, a maior variação espectral da primeira gravação é devida ao aparecimento de um vibrato no final do trecho, não solicitado em sua emissão vocal. A gravação pós-aquecimento não apresenta tal vibrato.

Já o sujeito 11 apresenta maior variação espectral na vogal pós-aquecimento.

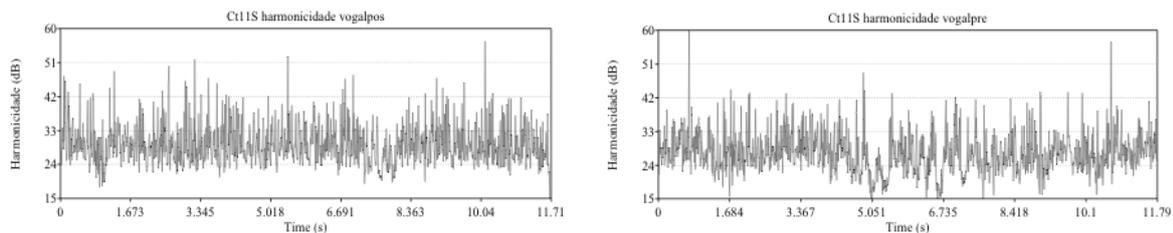


Figura 7: Curvas de harmonicidade pré- e pós- aquecimento do cantor 11.

A audição e a análise espectral das duas gravações aponta a presença de sopro na vogal pré-aquecimento na faixa entre 3000 e 4000 Hz, que contribui para uma menor harmonicidade geral e, certamente, também para uma menor variação espectral, já que essa característica se mantém por todo o trecho. A vogal pós-aquecimento apresenta uma maior brilho, com maior presença espectral na faixa entre 5000 a 8000 Hz, que varia bastante durante o trecho.

Os exemplos acima mostram que embora relevante para uma análise acústica de qualidade vocal, os resultados de variação espectral, por si só, não devem ser utilizados como uma medida absoluta, devendo-se analisar o contexto de sua produção.

Já em relação ao parâmetro (média do centróide/ $f_0$ ), notou-se um comportamento inesperado ligado aos diferentes naipes vocais. Enquanto a maioria das sopranos (05 em 07) apresentou um acréscimo desse parâmetro na vogal pós-aquecimento, o mesmo não se deu em relação aos tenores: dos quatro gravados, apenas um mostrou um acréscimo desse valor, e dois se revelaram significativamente menores.

#### 4. Considerações finais

Embora os resultados estatisticamente significativos tenham sido obtidos com os descritores acústicos *harmonicidade* e *jitter* (ainda não conclusivos), a discussão qualitativa sobre os descritores acústicos variação espectral e centróide espectral também trouxe à tona algumas questões importantes sobre efeitos do aquecimento em cantores de diferentes níveis técnicos e diferentes naipes vocais, que merecem uma abordagem mais específica. Destacamos aqui uma possível influência da experiência profissional nos valores de *jitter*, a busca de uma melhor caracterização da variação espectral em notas longas lisas, e também o fato dos tenores apresentarem a média de centróide/ $f_0$  com um valor mais baixo após o aquecimento. Nesse último caso, estima-se que uma metodologia de abordagem longitudinal, com um número reduzido de sujeitos, possa ser mais eficaz.

Estes resultados, mesmo que não conclusivos, são importantes para uma melhor definição e foco de futuras pesquisas envolvendo cantores e aquecimento vocal. Demonstram também que a avaliação acústica é uma ferramenta importante para a análise de vozes profissionais.

#### Referências:

AZEVEDO BB. *et al.* A interferência da muda vocal nas lesões estruturais das pregas vocais. *Rev. Bras. Otorrinolaringologia*, São Paulo, v. 73, n. 2, p. 226-30, 2007.

BEHLAU, M.; RUSSO, I. Percepção da fala: análise acústica do português brasileiro. São Paulo: Lovise, 1993. p. 57.

BEHLAU *et al.* Programa de aquecimento e desaquecimento vocal. In: MARCHESAN, I.; ZORZI, J.L.; GOMES, I.C.D. *Tópicos em fonoaudiologia*. São Paulo: Lovise, 1996. v.3, p.713-719.

BEHLAU, M. *et al.* In: BEHLAU, M. (Org.). *O livro do especialista*. Rio de Janeiro: Revinter, 2001. vol. I.

BEHLAU, M. *et al.* Voz Profissional: Aspectos Gerais e Atuação Fonoaudiológica. In: Behlau, M. (Org.) *Voz: O livro do especialista*. 2. ed. Rio de Janeiro: Revinter, 2005. vol. II, cap. 12.

BOERSMA, P.; WEENINK, D. (2003). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]: *software* livre. *Manual page*. Disponível em: <<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/manual/Harmoniccity.html>>. Acesso em: 30 de mar. 2012.

BOERSMA, P.; WEENINK, D. (2010). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]: *software* livre. Version 5.1.32, retrieved 30 April 2010 from <http://www.praat.org/>. Disponível em: <[www.praat.org](http://www.praat.org)>. Acesso em: 20 mai. 2010.

CARRILLO, L.; ORTIZ, K.Z. Análise vocal (auditiva e acústica) nas disartrias. *Pró-fono*, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 381-386, Out.-Dez. 2007.

COSTA, H. O.; ANDRADA e SILVA, M.A. Voz cantada - evolução, avaliação e terapia fonoaudiológica. São Paulo, Lovise 1998. 167 p.

COSTA-PAIVA, L. *et al.* Procura de serviço médico por mulheres climatéricas brasileiras. *Rev. Saúde Pública (J. Public Health)*. São Paulo, v. 36, n. 4, p. 484-490, 2002.

DROMEY, C.; SMITH, M. Vocal Tremor and vibrato in the same person: acoustic and electromyographic differences. *Journal of Voice*, Philadelphia, v. 22, n. 5, p. 541-545, Sep. 2008.

ELLIOT, N. *et al.* What happens during vocal warm-up? *Journal of Voice*, Philadelphia, v. 9, p. 37-44, 1995.

FIGUEIREDO, L.C. *et al.* Estudo do comportamento vocal no ciclo menstrual: avaliação perceptivo-auditiva, acústica e auto-perceptiva. *Rev. Bras. Otorrinolaringologia*. v. 70, n. 3, p. 331-9, 2004.

JACKSON, M.C.A. El canto coral em los niños y em los adultos. In: SEGRE, S. *Princípios da foniatria*. Buenos Aires: Panamericana, 1987.

GISH, A.K. *et al.* *Vocal warm-up practices and perceptions in vocalists: a pilot survey*. 2010. 74f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Louisiana, Baton Rouge, Louisiana, USA, Programa de Pós-Graduação em Artes (Departamento de Distúrbios da Comunicação). Disponível em: <[http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-04122010-104444/unrestricted/GishAK\\_Thesis.pdf](http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-04122010-104444/unrestricted/GishAK_Thesis.pdf)>. Acesso em: 17 jul. 2012.

OGUZ, H. *et al.* Acoustic Analysis Findings in Objective Laryngopharyngeal Reflux Patients. *Journal of Voice*, Philadelphia, v. 21, n.2, p. 203-10, Mar. 2007.

PINHO, S.M.R.; CAMARGO, Z.A. Introdução à análise acústica da voz e da fala. In: PINHO, S.M.R. *Tópicos em Voz*. Rio de Janeiro: Guanabara, 2001.

PINHO, S.M.R. Avaliação e tratamento de voz. In: PINHO, S.M.R. *Fundamentos em fonoaudiologia: tratando os distúrbios da voz*. 2ª.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. p. 3-40.

SATALOFF, R.T. *et al.* *The clinical voice laboratory: practical design and clinical application*. *Journal of Voice*, v. 4, p. 264-279, 1990.

SATALOFF, R.T. *et al.* *Professional voice: the science and art of clinical care*. 2. ed. New York: Raven Press, 1991.